

И.Г. Шайхиев, И.Н. Шумкова (Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация),
С.В. Свергузова (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация)

ВЛИЯНИЕ ГИДРОФОБИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СИЛОКСАНОВЫМИ ЖИДКОСТЯМИ НА МАСЛОЕМКОСТЬ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ОТХОДА ВОДООЧИСТКИ

Ildar G. Shaikhiev, Irina N. Shumkova (Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation),
Svetlana V. Sverguzova (Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Belgorod, Russian Federation)

INFLUENCE OF HYDROPHOBIZATION TREATMENT USING SILOXANE LIQUIDS ON OIL CAPACITY AND WATER ABSORPTION OF WATER TREATMENT WASTE

Введение

Статья посвящена изучению влияния гидрофобизационной обработки адсорбента нефтепродуктов на основе нативного и термически модифицированного отхода водочистки на его нефтеемкость и водопоглощение.

Цели и задачи

Изучение влияния адсорбента на основе отхода водочистки поглощать влагу и нефтепродукты в результате обработки исходного и термически модифицированного образцов с помощью гидрофобизирующих веществ.

Материалы и методы

В качестве гидрофобизаторов исследовались промышленные жидкости, содержащие кремнийорганические соединения марок «Опти Люкс», «Экодом Био» и ГКЖ-94М.

Background

The article is devoted to of the influence of hydrophobization treatment of petroleum products adsorbents based on native and thermally modified water treatment waste on its oil capacity and water absorption.

Aims and Objectives

To study influence of adsorbent based on water treatment waste to absorb water and oil products as a result of treatment of initial and thermally modified samples with hydrophobizing substances.

Methods

Industrial liquids containing organosilicon compounds, brands «Opti Lux», «Ecohouse Bio» and GKZH-94M, were researched as hydrophobizers.

В качестве сорбционных материалов использовался нативный и термообработанный при 550 °С отход, образующийся на станции водоочистки воды реки Кама в г. Нижнекамск (Республика Татарстан). В качестве сорбатов использовались чистые и отработанные масла марок 5W40, 15W40 и I-20A.

Значения максимальной маслосемкости и водопоглощения определялись весовым методом.

Результаты

В результате проведенного исследования определено, что обработка образцов отхода водоочистки гидрофобизаторами позволяет снизить водопоглощение при незначительном уменьшении максимального маслосопоглощения. Выявлено, что способность исследуемого сорбционного материала поглощать нефтепродукты после его обработки гидрофобизаторами не зависит от проведения предварительной термической обработки отхода.

As sorption materials, native and heat-treated waste generated at the water treatment plant in Nizhnekamsk (Republic of Tatarstan) were studied. As sorbates oils of the 5w40, 15W40 and I-20A brands were used.

The values of maximum oil capacity and water absorption were determined by the weight method.

Results

As a result of the study, it was determined that treatment of water treatment waste by hydrophobizers allows to reduce water absorption and slightly reduce the maximum oil absorption. It was determined that the ability of the sorption material to absorb oil products after its treatment using hydrophobizers does not depend on the heat treatment of the waste.

Ключевые слова: отход водоочистки; гидрофобизация; силоксановые жидкости; маслосемкость; водопоглощение

Key words: water treatment waste; hydrophobization; siloxane liquids; oil capacity; water absorption

Активное вмешательство человека в окружающую среду оказывает негативное воздействие на состояние воздуха, почвы, возобновляемых и невозобновляемых природных ресурсов [1].

Урбанизация, увеличение числа промышленных предприятий и рост мощностей уже функционирующих заводов, развитие техники и технологии требуют решения существующих экологических проблем и принятия мер по предотвращению ухудшения состояния окружающей среды.

Ужесточение требований к качеству природных вод является мотивацией для

улучшения качества очистки сточных вод и вторичного использования водных ресурсов в производственном процессе [2].

Согласно данным Водного кадастра РФ [3], одними из наиболее распространенных поллютантов поверхностных природных вод являются нефтепродукты (НП). Причинами загрязнения последними водных объектов могут быть добыча, транспортировка, переработка нефти, промывка цистерн, сброс льяльных вод, разливы на водные объекты в результате техногенных аварий, некачественная очистка загрязненных сточных вод и т.д. [4]. Так как растворимость нефти и НП в

воде очень мала, они накапливаются, в основном, на дне и на поверхности водоема [5-7], что приводит к замедлению поступления воздуха в воду и выделению углекислоты в атмосферу, а также к изменению биологической среды обитания и возникновению болезней гидробионтов.

Существует много способов утилизации НП из сточных и природных вод [8-10], но наиболее эффективным и экологически чистым, как показывает анализ литературных источников, является метод адсорбции. К адсорбентам предъявляется ряд требований, основными из которых являются эффективность, экологичность, дешевизна средств очистки и ряд других [11].

Для каждого процесса очистки подбирают свой наиболее подходящий адсорбционный материал [12] в зависимости от состава поллютантов в составе водных сред.

В настоящее время интенсивно развивается новое инновационное направление в области охраны окружающей среды - использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства в качестве реагентов для очистки природных и сточных вод, в том числе и от нефти и НП [13-16].

В частности, имеются многочисленные исследования возможности использования отходов водоподготовки ТЭЦ для удаления нефти и нефтепродуктов [17, 18], ионов тяжелых металлов [19, 20] и других поллютантов из сточных вод.

На основании вышеизложенного, нами ранее исследовалась возможность использования в качестве сорбционного материала НП отхода от очистки речной воды на станциях водоподготовки [21, 22].

Однако, как показали проведенные исследования, отход водоочистки (ОВ) имеет невысокие адсорбционные характеристики по маслам и высокое значение водопоглощения. Для снижения последнего показателя применяются различные методы, в том числе и обработка гидрофобизирующими реагентами, в том числе и силоксановыми [23-25].

На основании вышеизложенного, изучалось влияние природы гидрофобизирую-

щих модифицирующих добавок на масло- и водопоглощение сорбционного материала на основе ОВ.

Объектом исследования в настоящей работе выступал ОВ, образующийся на станции водоочистки воды реки Кама при подготовке питьевой воды в г. Нижнекамск (Республика Татарстан). Отход от процесса очистки речной воды представляет собой куски различных размеров (от 0,5 до 5 мм) бурого цвета.

В исследованиях использовался измельченный образец отхода водоочистки, предварительно просушенный в течение 8 ч в сушильном шкафу при температуре 110 °С. Методом термогравиметрического анализа определено, что неорганическая составляющая в исследуемом ОВ составляет 53,97 %, органическая часть - 46,03 %.

Также определено, что минеральная составляющая ОВ представлена кварцем (α -SiO₂), кальцитом (CaCO₃), сепиолитом (Mg₃[Si₄O₁₁]·nH₂O), анортитом (CaO·Al₂O₃·2SiO₂) и галлуазитом (Al₂O₃·2SiO₂·4H₂O) [18].

Кроме того, проводилась термическая обработка ОВ. Выявлено, что наибольшая адсорбционная емкость по НП наблюдалась у образца, подвергнутого термической модификации при температуре 550 °С в течение 1 ч.

Нами проводилась гидрофобизация нативного и термообработанных образцов ОВ различными гидрофобизирующими веществами (таблица 1).

При использовании жидких гидрофобизирующих веществ готовился 5 %-ный раствор гидрофобизатора объемом 150 см³, который интенсивно перемешивался с ОВ в количестве 100 г. После этого производилась сушка сорбционного материала (СМ) при температуре 110 °С в течение 8 ч в сушильном шкафу.

В качестве сорбатов использовались нативные и отработанные масла марок И-20А, 5W-40 и 15W-40, основные характеристики которых представлены в таблице 2.

Таблица 1. Характеристика гидрофобизирующих реагентов

№ п/п	Наименование	Активное вещество	Применение	Агрегатное состояние
1	Гидрофобизатор «Опти Люкс»	Смесь алкилсиликонатов натрия и калия	Применяется в качестве водоотталкивающей добавки для бетона и строительных растворов	Прозрачная жидкость
2	Гидрофобизатор для обработки древесины «Экодом Био»	Высокоэффективные антисептические компоненты и гидрофобизатор	Применяется для биологической защиты древесины и изделий из нее от влаги, плесени, гнили и т.д.	Жидкость желтого цвета
3	Гидрофобизатор ГКЖ-94М	Полиметилгидросилоксан	Используется для придания гидрофобных свойств строительным материалам, в текстильной промышленности, для приготовления антиадгезионных смазок	Жидкость светло-желтого цвета

Таблица 2. Основные характеристики нативных и отработанных масел

Марка масла	Плотность, г/см ³	Динамическая вязкость при 20 °С, мПа·с
Масло моторное 5W40 (чистое)	0,848	14,80
Масло моторное 5W40 (обработанное)	0,863	134,58
Масло промышленное И-20А (чистое)	0,869	22,00
Масло промышленное И-20А (отработанное)	0,877	148,43
Масло моторное 15W40 (чистое)	0,887	24,66
Масло моторное 15W40 (обработанное)	0,899	160,55

Значение максимальной маслосъемности полученных образцов определялось весовым методом. Для этого латунная сеточка с известной массой (размер ячеек 0,35 мм) помещалась в НП, затем на ее поверхность насыпался исследуемый образец ОВ в количестве 1 г.

По истечению определённых промежутков времени сеточка извлекалась вместе с ОВ, насыщенным НП. После стекания избытка сорбата производилось взвешивание.

Максимальная маслосъемность определялась как отношение массы адсорбированного масла к массе СМ.

Определение максимального водопоглощения проводилось аналогично описанному выше, только в качестве сорбата использовалась вода.

Исследованиям подвергались 8 образцов СМ на основе ОВ.

В таблице 3 приведены обозначения образцов ОВ - нативного, термообработанного и после их обработки силоксановыми гидрофобизирующими реагентами, а также значения максимального водопоглощения, определенные по методике, описанной выше.

Таблица 3. Обозначения образцов отходов водоочистки и их основные характеристики

Обозначение образца отхода	Расшифровка	Методы модификации	Плотность, г/см ³	Максимальное водопоглощение, г/г
НМОВ	Немодифицированный (исходный) отход водоочистки	-	0,97	1,85
ТМОВ ₅₅₀	Термически модифицированный при температуре 550 °С отход водоочистки	Термическая обработка образца НМОВ при температуре 550 °С	0,63	2,05
Г1 _{НМОВ}	Гидрофобизация немодифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка НМОВ с помощью гидрофобизатора «Опти Люкс»	0,84	1,20
Г1 _{ТМОВ}	Гидрофобизация термически модифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка ТМОВ ₅₅₀ с помощью гидрофобизатора «Опти Люкс»	0,93	1,17
Г2 _{НМОВ}	Гидрофобизация немодифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка НМОВ с помощью антисептика для обработки древесины «Экодом»	0,93	1,14
Г2 _{ТМОВ}	Гидрофобизация термически модифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка ТМОВ ₅₅₀ с помощью антисептика для обработки древесины «Экодом»	0,99	1,10
Г3 _{НМОВ}	Гидрофобизация немодифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка НМОВ с помощью гидрофобизатора ГКЖ-94М	0,93	1,12
Г3 _{ТМОВ}	Гидрофобизация термически модифицированного отхода водоочистки	Гидрофобизационная обработка ТМОВ ₅₅₀ с помощью гидрофобизатора ГКЖ-94М	0,94	1,14

По приведенным в таблице 3 данным видно, что немодифицированный ОВ имеет относительное высокое значение водопоглощения (1,85 г/г).

Термическая обработка немодифицированного отхода водоочистки (НМОВ) приводит к увеличению этого показателя почти на 10 % - до значения 2,05 г/г.

Также очевидно, что обработка гидрофобизационными материалами ОВ позволяет снизить их водопоглощение. Так, например, гидрофобизация позволяет снизить значение максимального водопоглощения нативного ОВ с 1,85 до 1,12-1,2 г/г (на 35,1-39,4 %) в зависимости от марки силоксановой жидкости. В случае обработки гидрофобизирующими жидкостями термообработанного образца ОВ, водопоглощение снижается с 2,05 до 1,10-1,17 г/г (на 42,9-46,3 %) в зависимости от марки гидрофобизатора. Плотность ОВ также менялась в зависимости от модификации материала.

Термическая обработка НМОВ снижает значение плотности на 35 % за счет разложения входящих в состав органических соединений и увеличения пористости адсорбента за счет выделения газообразных продуктов.

В целом, гидрофобизация жидкими гидрофобизаторами не оказывает существенного влияния на изменение плотности сорбционного материала. Увеличение же значения плотности модифицированных образцов, полученных при гидрофобизации ТМОВ, обусловлено заполнением пор последнего гидрофобизирующим материалом.

В дальнейшем определялась способность модифицированных образцов ОВ поглощать нефтепродукты. Первоначально строились графики изменения сорбционной емкости по маслам в зависимости от времени взаимодействия сорбционного материала с сорбатом. В частности, на рисунке 1 приведены графические зависимости изменения значений маслосъемности от времени контактирования нативного и термообработанного образцов ОВ с чистым и отработанным маслом марки 5W40.

Как следует из приведенных графических зависимостей, максимально большее количество нефтепродуктов сорбируется на поверхности сорбционного материала в течение первых 2-3 мин от начала контактирования и в дальнейшем практически не изменяется.

Для остальных образцов модифицированных сорбционных материалов графики зависимости маслосъемности от времени взаимодействия с сорбатами имеют аналогичный вид.

В таблице 4 приведены максимальные значения показателя маслосъемности полученных сорбционных материалов по отношению к исследуемым чистым и отработанным маслам.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что температура обжига исходного образца отхода увеличивает его способность поглощать НП. Максимальное значение маслосъемности исходного образца отхода составляет 1,55 г/г (5W40_{чист.}), обожженного при 550 °С - 1,78 г/г (5W40_{чист.}).

Очевидно, что обработка ОВ гидрофобизирующими веществами приводит к некоторому уменьшению адсорбционной способности по НП в сравнении с нативным и термообработанными образцами сорбционного материала.

Данное обстоятельство объясняется образованием пленки гидрофобизатора на поверхности ОВ и перекрытием пор сорбционного материала.

Максимальное значение маслосъемности наблюдается у образца Г_{2ТМОВ} и составляет 1,54 г/г.

Минимальное значение маслосъемности у образцов Г₃ - по 1,41 г/г для чистого и отработанных масел марки И-20.

Данное обстоятельство косвенно свидетельствует о том, что имеет место адгезия нефтепродуктов на поверхности сорбционного материала.

Примечательно, что обработка НМОВ и ТМОВ₅₅₀ одним и тем же гидрофобизатором дает близкие значения маслосъемности.

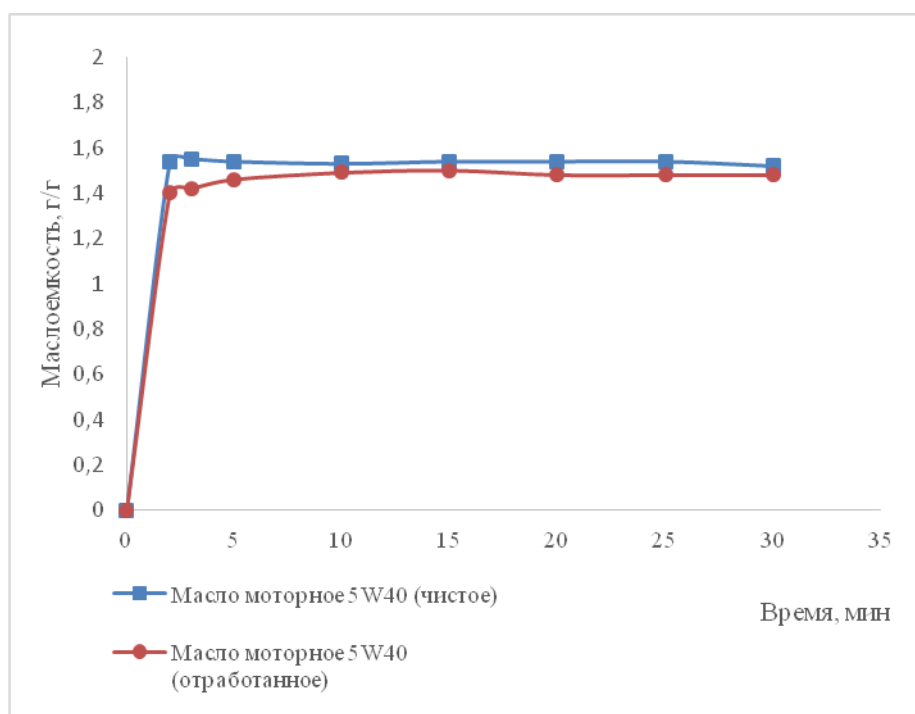


Рисунок 1. Значения максимальной маслоемкости полученных образцов, определенных при помощи весового метода

Таблица 4. Значения максимальной маслоемкости образцов сорбционных материалов на основе отхода водоочистки

Наименование материала	Значения максимальной маслоемкости, г/г					
	5W40 чист.	5W40 отраб.	15W40 чист.	15W40 отраб.	И-20А чист.	И-20А отраб.
НМОВ	1,55	1,50	1,49	1,46	1,52	1,49
ТМОВ ₅₅₀	1,78	1,73	1,73	1,67	1,73	1,72
Г1 _{НМОВ}	1,50	1,40	1,49	1,42	1,48	1,43
Г1 _{ТМОВ}	1,51	1,42	1,50	1,46	1,49	1,48
Г2 _{НМОВ}	1,51	1,40	1,43	1,42	1,47	1,49
Г2 _{ТМОВ}	1,54	1,44	1,43	1,43	1,50	1,49
Г3 _{НМОВ}	1,47	1,45	1,45	1,44	1,42	1,41
Г3 _{ТМОВ}	1,50	1,46	1,46	1,44	1,42	1,41

Таким образом, выявлено, что предварительная термическая модификация НМОВ не влияет на способность поглощать нефтепродукты после его обработки гидрофобизатором.

Выводы

Проведена модификация отходов водоочистки (нативного и термообработанного

при 550 °С) силоксановыми гидрофобизирующими жидкостями различных марок.

Определено, что обработки гидрофобизаторами способствует снижению максимальной водопоглощения до 46 % и несколько снижает значение максимальной маслоемкости по сравнению с исходными образцами сорбционного материала.

Список литературы

1. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2006. 528 с.
2. Сироткина Е.Е., Погадаева Н.И., Фуфаева М.С. Криогель-сорбент на основе поливинилового спирта и железосодержащего осадка для удаления нефти и фенола из воды // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 3. С. 49-53.
3. Водный кадастр Российской Федерации. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2016 год. М.: «РПЦ Офорт», 2017. 165 с.
4. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Ин-октаво, 2005. 368 с.
5. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.
6. Вольф И.В., Ткаченко Н.И. Химия и микробиология природных и сточных вод. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 234 с.
7. Mazeas L., Budzinski H. Molecular and Stable Carbon Isotopic Source Identification of Oil Residues and Oiled Bird Feathers Sampled Along the Atlantic Coast of France After the Erika Oil Spill // Environmental Science and Technology. 2002. Vol. 36. Issue 2. P. 130-137.
8. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки). М.: Научный Мир, 2004. 328 с.
9. Телегин Л.Г., Ким Б.И., Зоненко В.И. Охрана окружающей среды при сооружениях и эксплуатации газонефтепроводов. М.: Недра, 1988. 190 с.
10. Новоселова Л.Ю., Сироткина Е.Е., Барбашина Я.Е. Нанопористые сорбенты для извлечения нефти из воды // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2009. № 7. С. 40-43.
11. Безымянников Т.И., Валеев А.Р., Каримов Р.М., Фарвазова Н.А. Экспериментальное исследование сорбента для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 1. С. 24-27. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10105.
12. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. 256 с.
13. Ali I., Asim M., Khan T.A. Low Cost Adsorbents for the Removal of Organic Pollutants from Wastewater // Journal of Environmental Management. 2012. Vol. 113. P. 170-183. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.08.028.
14. Doshi B., Sillanpaa M., Kalliola S. A Review of Bio-Based Materials for Oil Spill Treatment // Water Research. 2018. Vol. 135. P. 262-277. DOI: 10.1016/j.watres.2018.02.034.
15. Bandura L., Wozzuk A., Kolodynska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review // Miner-

References

1. Kamenshchikov F.A., Bogomolnyi E.I. *Udalenie nefteproduktov s vodnoi poverkhnosti i grunta* [Removal of Oil Products from the Water Surface and Soil]. Izhevsk, NITs «Regulyarnaya i khaotichnaya dinamika» Publ., 2006. 528 p. [in Russian].
2. Sirotkina E.E., Pogadaeva N.I., Fufaeva M.S. *Kriogel'-sorbent na osnove polivinilovogo spirta i zhelezosoderzhashchego osadka dlya udaleniya nefti i fenola iz vody* [Cryogel-Sorbent Based on Polyvinyl Alcohol and Iron-Containing Sediment for Removing Oil and Phenol from Water]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010, Vol. 317, No. 3, pp. 49-53. [in Russian].
3. *Vodnyi kadastr Rossiiskoi Federatsii. Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie. 2016 god* [Water Cadastre of the Russian Federation. Surface and Groundwater Resources, their Use and Quality. Annual Edition. 2016 Year]. Moscow, «RPTs Ofort» Publ., 2017. 165 p. [in Russian].
4. Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Preduprezhdenie i likvidatsiya avariinykh razlivov nefti i nefteproduktov* [Prevention and Response to Accidental Oil and Oil Product Spills]. Moscow, In-oktavo Publ., 2005. 368 p. [in Russian].
5. Smirnov A.D. *Sorbtsionnaya ochistka vody* [Sorptions Water Treatment]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 168 p. [in Russian].
6. Volf I.V., Tkachenko N.I. *Khimiya i mikrobiologiya prirodnykh i stochnykh vod* [Chemistry and Microbiology of Natural and Wastewater]. Leningrad, LGU Publ., 1973. 234 p. [in Russian].
7. Mazeas L., Budzinski H. Molecular and Stable Carbon Isotopic Source Identification of Oil Residues and Oiled Bird Feathers Sampled Along the Atlantic Coast of France After the Erika Oil Spill. *Environmental Science and Technology*, 2002, Vol. 36, Issue 2, pp. 130-137.
8. Nemirovskaya I.A. *Uglevodороды v okeane (sneg-led-voda-vzves'-donnye osadki)* [Hydrocarbons in the Ocean (Snow-Ice-Water-Suspension-Bottom Sediments)]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 2004. 328 p. [in Russian].
9. Telegin L.G., Kim B.I., Zonenko V.I. *Okhrana okruzhayushchei sredy pri sooruzheniyakh i ekspluatatsii gazonefteprovodov* [Environmental Protection During the Construction and Operation of Gas and Oil Pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 190 p. [in Russian].
10. Novoselova L.Yu., Sirotkina E.E., Barbashina Ya.E. *Nanoporistye sorbenty dlya izvlecheniya nefti iz vody* [Nanoporous Sorbents for Oil Recovery from Water]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt - Oil Processing and Petrochemistry*, 2009, No. 7, pp. 40-43. [in Russian].
11. Bezemyannikov T.I., Valeev A.R., Karimov R.M., Farvazova N.A. *Eksperimental'noe issledovanie sorbenta dlya likvidatsii avariinykh razlivov nefti i nefteproduktov* [Experimental Study of Sorbent for Oil and Oil Products Spill Response Operations].

als. 2017. Vol. 7. Article 37. DOI: 10.3390/min7030037.

16. Galblaub O.A., Shaikhiev I.G., Stepanova S.V., Timirbaeva G.R. Oil Spill Cleanup of Water Surface by Plant-Based Sorbents: Russian Practices // *Process Safety and Environmental Protection*. 2016. Vol. 101. P. 88-92. DOI: 10.1016/j.psep.2015.11.002.

17. Николаева Л.А., Бородай Е.Н., Голубчиков М.А. Сорбционные свойства шлама осветлителей при очистке сточных вод электростанций от нефтепродуктов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2011. № 1-2. С. 132-136.

18. Николаева Л.А., Голубчиков М.А., Захарова С.В. Гранулированные гидрофобные адсорбенты на основе карбонатного шлама осветлителей ХВО КТЭЦ-1 для доочистки сточных вод от нефтепродуктов // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2012. № 4 (78). С. 24-29.

19. Николаева Л.А., Шигабутдинова А.Ф. Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов шламом химводоочистки ТЭС // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2013. № 4. С. 13-15.

20. Свергузова С.В., Сахаб М.Ф., Шайхiev И.Г. Использование шлама Белгородской ТЭЦ в водоочистке от ионов никеля // *Вестник технологического университета*. 2017. Т. 20. № 8. С. 138-140.

21. Свергузова С.В., Шайхiev И.Г., Сапронова Ж.А., Шумкова И.Н. Определение минералогического состава и сорбционных характеристик отхода от процесса водоочистки по нефтепродуктам // *Вода: химия и экология*. 2019. № 7-9. С. 48-55.

22. Шумкова И.Н., Шайхiev И.Г., Свергузова С.В. Использование немодифицированного отхода водоочистки в качестве адсорбента нефтепродуктов // *Fundamental Science and Technology: сб. ст. по матер. междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во НИЦ Вестник науки*, 2019. С. 38-42.

23. Николаева Л.А., Голубчиков М.А. Влияние природы гидрофобизатора на сорбционную емкость шлама осветлителей ТЭС // *Вода: химия и экология*. 2011. № 10 (40). С. 54-57.

24. Николаева Л.А., Исхакова Р.Я. Очистка оборотных и сточных вод ТЭС от нефтепродуктов модифицированным шламом водоподготовки // *Теплоэнергетика*. 2017. № 6. С. 72-78. DOI: 10.1134/S0040363617060042.

25. Николаева Л.А., Голубчиков М.А. Очистка производственных сточных вод от нефтепродуктов модифицированными сорбционными материалами на основе карбонатного шлама // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2016. № 7. С. 51-58.

Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons, 2019, No. 1, pp. 24-27. DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10105. [in Russian].

12. Koganovskii A.M., Klimenko N.A., Levchenko T.M., Roda I.G. *Adsorbtsiya organicheskikh veshchestv iz vody* [Adsorption of Organic Matter from Water]. Leningrad, Khimiya Publ., 1990. 256 p. [in Russian].

13. Ali I., Asim M., Khan T.A. Low Cost Adsorbents for the Removal of Organic Pollutants from Wastewater. *Journal of Environmental Management*, 2012, Vol. 113, pp. 170-183. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.08.028.

14. Doshi B., Sillanpaa M., Kalliola S. A Review of Bio-Based Materials for Oil Spill Treatment. *Water Research*, 2018, Vol. 135, pp. 262-277. DOI: 10.1016/j.watres.2018.02.034.

15. Bandura L., Wozzuk A., Kolodynska D., Franus W. Application of Mineral Sorbents for Removal of Petroleum Substances: A Review. *Minerals*, 2017, Vol. 7, Article 37. DOI: 10.3390/min7030037.

16. Galblaub O.A., Shaikhiev I.G., Stepanova S.V., Timirbaeva G.R. Oil Spill Cleanup of Water Surface by Plant-Based Sorbents: Russian Practices. *Process Safety and Environmental Protection*, 2016, Vol. 101, pp. 88-92. DOI: 10.1016/j.psep.2015.11.002.

17. Nikolaeva L.A., Borodai E.N., Golubchikov M.A. Sorbtsionnye svoystva shlama osvetlitelei pri ochistke stochnykh vod elektrostantsii ot nefteproduktov [Sorbition Properties of Sludge, Produced by Clarifiers, at Clearing Power Stations Sewages from Oil Products]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki - Power Engineering: Research, Equipment, Technology*, 2011, No. 1-2, pp. 132-136. [in Russian].

18. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A., Zakharova S.V. Granulirovannyye gidrofobnyye adsorbenty na osnove karbonatnogo shlama osvetlitelei KhVO KTETs-1 dlya doochistki stochnykh vod ot nefteproduktov [Granular Hydrophobic Adsorbents Based on Carbonate Sludge from Clarifiers HVO KTETs-1 for Post-Treatment of Wastewater from Oil Products]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka - Energy Saving and Water Treatment*, 2012, No. 4 (78), pp. 24-29. [in Russian].

19. Nikolaeva L.A., Shigabutdinova A.F. Resursosberegayushchaya tekhnologiya ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov shlamom khimvodoochistki TES [Resource-Saving Technology of Waste Water Purification from Heavy Metals Ions by Sludge of Water Treatment TPP]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka - Energy Saving and Water Treatment*, 2013, No. 4, pp. 13-15. [in Russian].

20. Sverguzova S.V., Sakhab M.F., Shaikhiev I.G. Ispol'zovanie shlama Belgorodskoi TETs v vodoochistke ot ionov nikelya [Use of Sludge from Belgorodskaya CHPP in Water Purification from Nickel Ions]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta - Herald of Technological University*, 2017, Vol. 20, No. 8, pp. 138-140. [in Russian].

21. Sverguzova S.V., Shaikhiev I.G., Sapronova Zh.A., Shumkova I.N. Opredelenie mineralogicheskogo sostava i sorbtionnykh kharakteristik otkhoda ot protsessa vodoochistki po nefteproduktam [Determination of the Mineralogical Composition and Sorption Characteristics of Waste from the Water Treatment Process by Oil Products]. *Voda: khimiya i ekologiya - Water: Chemistry and Ecology*, 2019, No. 7-9, pp. 48-55. [in Russian].

22. Shumkova I.N., Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V. Ispol'zovanie nemodifitsirovannogo otkhoda vodoochistki v kachestve adsorbenta nefteproduktov [Use of Unmodified Waste Water Treatment as an Adsorbent of Petroleum Products]. *Sbornik statei po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Fundamental Science and Technology»* [Collection of Articles Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference «Fundamental Science and Technology»]. Ufa, NITs Vestnik nauki Publ., 2019, pp. 38-42. [in Russian].

23. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A. Vliyanie prirody gidrofobizatora na sorbtionnuyu emkost' shlama osvetlitelei TES [Hydrophobizator Effect on Sorption Capacity of Heat Power Plant Sludges]. *Voda: khimiya i ekologiya - Water: Chemistry and Ecology*, 2011, No. 10 (40), pp. 54-57. [in Russian].

24. Nikolaeva L.A., Iskhakova R.Ya. Ochistka oborotnykh i stochnykh vod TES ot nefteproduktov modifitsirovannym shlamom vodopodgotovki [Complex Use of Waste in Wastewater and Circulating Water Treatment from Oil in Heat Power Stations]. *Teploenergetika - Thermal Engineering*, 2017, No. 6, pp. 72-78. DOI: 10.1134/S0040363617060042. [in Russian].

25. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A. Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod ot nefteproduktov modifitsirovannymi sorbtionnymi materialami na osnove karbonatnogo shlama [Removal of Oil Products from Industrial Wastewater with the Use of Modified Carbonate Sludge-Based Sorption Materials]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika - Water Supply and Sanitary Technique*, 2016, No. 7, pp. 51-58. [in Russian].

Авторы

• Шайхиев Ильдар Гильманович, д-р техн. наук
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Заведующий кафедрой «Инженерная экология»
Российская Федерация, 420015, г. Казань,
ул. Карла Маркса, 68
e-mail: ildars@inbox.ru

The Authors

• Shaikhiev Ildar G., Doctor of Engineering Sciences
Kazan National Research Technological University
Head of Engineering Ecology Department
68, Karl Marks str., Kazan, 420015,
Russian Federation
e-mail: ildars@inbox.ru

• Шумкова Ирина Наилевна
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Соискатель кафедры «Инженерная экология»
Российская Федерация, 420015, г. Казань,
ул. Карла Маркса, 68
e-mail: daminova-i@mail.ru

• Shumkova Irina N.
Kazan National Research Technological University
Applicant of Engineering Ecology Department
68, Karl Marks str., Kazan, 420015,
Russian Federation
e-mail: daminova-i@mail.ru

• Свергузова Светлана Васильевна, д-р техн. наук
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Заведующая кафедрой «Промышленная
экология»
Российская Федерация, 308012, г. Белгород,
ул. Костюкова, 46
e-mail: pe@intbel.ru

• Sverguzova Svetlana V., Doctor of Engineering
Sciences
Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov
Head of Industrial Ecology Department
46, Kostyukova str., Belgorod, 308012,
Russian Federation
e-mail: pe@intbel.ru